ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS NO LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA FLORESTAL "WALTER EMMERICH", CUNHA - SP

Rafael Alexandre Ferreira LUIZ[1]
Francisco Carlos Soriano ARCOVA[2]
Valdir de CICCO[3]
Maurício RANZINI[4]
João Batista Amaro dos SANTOS[5]

RESUMO

São realizadas no Laboratório de Hidrologia Florestal "Walter Emmerich" (L.H.F.W.E.), localizado no núcleo Cunha do Parque Estadual da Serra do Mar, sob administração do Instituto Florestal de São Paulo (IF), pesquisas em hidrologia florestal aplicadas ao manejo de bacias hidrográficas, principalmente relacionadas aos ciclos hidrológico e geoquímico em floresta de Mata Atlântica. A região estudada constitui importante manancial hídrico, uma vez que as águas das nascentes ali presentes tornam-se contribuintes do rio Paraíba do Sul, responsável pelo abastecimento de municípios dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. O L.H.F.W.E. possui série histórica de dados hidrológicos que remonta ao ano de 1982, principalmente de precipitação pluviométrica e de deflúvio em microbacias experimentais. Embora os dados de chuva sejam utilizados nos cálculos para estas pesquisas, o laboratório carece de mais informações detalhadas sobre a distribuição e o regime das mesmas. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é identificar a dinâmica das chuvas, em termos quantitativos, nas três microbacias hidrográficas experimentais do L.H.F.W.E. Para obtenção dos dados, realizou-se o monitoramento da precipitação através da distribuição de nove pluviógrafos, selecionando para o atual estudo três aparelhos – P1, P5 e P9, das microbacias experimentais D, B e A, respectivamente. Após tabulações e interpretações dos registros das chuvas, determinou-se a quantidade das precipitações anuais, sazonais e mensais. Para o pluviógrafo P1 analisaram-se, ainda, as chuvas individualmente, obtendo-se a quantidade e a duração por eventos, sendo estes agrupados em seis classes distintas. Também se determinou o número de dias com chuva durante os anos, nos períodos sazonais e nos meses, além da média mensal da precipitação máxima em 1 hora. As principais conclusões foram: 1) embora tenha se verificado uma diminuição das chuvas, a precipitação anual é uma das mais elevadas do país, com média em torno dos 2.000 mm; 2) a dualidade existente entre os períodos úmido (out – mar) e pouco úmido (abr – set) foi regular, com significativa participação do período úmido na precipitação anual, com média de 1.200 mm; 3) as maiores quantidades precipitadas ocorreram no mês de janeiro (média de 279,1 mm) e as menores no mês de agosto (média de 47,3 mm), no entanto, os valores correspondentes aos meses de abril (112,9 mm) e setembro (147,1 mm) chamaram atenção por serem elevados, demonstrando a transição entre os períodos em tais meses. Para o pluviógrafo P1 as principais conclusões foram: 1) predominaram precipitações leves, normalmente inferiores a 10 mm, com duração de até 6 horas; 2) a média anual de dias com chuva se mostrou elevada: 148 dias, com 65% ocorrendo no período úmido e 35% no período pouco úmido; 3) verificou-se a diminuição do número de dias com chuva ao longo dos anos; 4) janeiro apresentou o maior número de dias chuvosos: 18, já os meses de junho/julho detiveram apenas 6 dias; 5) constatou-se que 71% das precipitações máximas em 1 hora corresponderam a valores de até 20 mm.

[1]Universidade de São Paulo, estudante de graduação do curso de Geografia, rafiuskis_geo@yahoo.com.br
[2] Instituto Florestal de São Paulo, arcova@iflorestal.sp.gov.br
[3] Instituto Florestal de São Paulo
[4] Instituto Florestal de São Paulo
[5] Instituto Florestal de São Paulo

INTRODUÇÃO

No ano de 1979, o Instituto Florestal (IF) desenvolveu parceria com a Japan International Cooperation Agency (JICA) para realizar estudos em hidrologia florestal aplicados ao manejo de bacias hidrográficas. A cooperação teve como fruto a implementação do Laboratório de Hidrologia Florestal "Walter Emmerich" (L.H.F.W.E.), localizado no núcleo Cunha do Parque Estadual da Serra do Mar. Esta região constitui importante manancial hídrico, uma vez que as águas das nascentes ali presentes tornam-se contribuintes do rio Paraíba do Sul, responsável pelo abastecimento de diversos municípios nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

O L.H.F.W.E. possui considerável série histórica de dados hidrológicos coletados em três microbacias experimentais, principalmente de precipitação pluviométrica e deflúvio, remontando ao ano de 1982. Estes têm sido amplamente utilizados em pesquisas sobre os processos relacionados com os ciclos hidrológico e geoquímico em floresta de Mata Atlântica. Particularmente, os dados de chuvas são úteis para se quantificar as entradas de água no balanço hídrico de massa, na precipitação que efetivamente alcança o piso da floresta após transpassar o dossel, na entrada de nutrientes para as microbacias e para modelagem hidrológica (ARCOVA & CICCO, 2005).

Embora os dados de chuva sejam muito utilizados nos cálculos para os estudos acima mencionados, o laboratório carece de informações detalhadas sobre a distribuição e o regime das chuvas nas microbacias. Somente dois estudos, envolvendo precipitação pluviométrica, foram realizados, um comparando métodos de cálculo de precipitação média em uma das microbacias experimentais (SHIMOMICHI et al., 1987) e o outro uma análise da distribuição de freqüência por classes de intensidade de chuva e por altura de precipitação, referente a um período úmido (RANZINI *et al.* 2004).

Conhecer o comportamento das chuvas torna-se importante para compreensão dos processos hidrogeoquímicos no laboratório. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é o de identificar a dinâmica das chuvas, em termos quantitativos, nas três microbacias hidrográficas experimentais.

MÉTODOS e TÉCNICAS

O Laboratório de Hidrologia Florestal "Walter Emmerich" insere-se no Núcleo Cunha do Parque Estadual da Serra do Mar, no município de Estância Climática de Cunha, Estado de São Paulo, sob administração do Instituto Florestal. Está localizado entre as coordenadas geográficas 23º13'28" e 23º16'10" de latitude sul e 45º02'53" e 45º05'15" de longitude oeste (figura 1).

Com altitudes que variam entre 1.000 m e 1.300 m, o núcleo apresenta área de 2.854 ha, abrangendo uma parte do Alto vale do rio Paraibuna, pertencente ao planalto do Paraitinga, no Planalto Atlântico, AB'SABER *apud* FURIAN & PFEIFER (1986) inclui esta área na superfície Pré-Serra do Mar, de origens diversas, podendo envolver, tanto deformações tectônicas cenozóicas, como flutuações climáticas e de níveis de base regionais. As formações topomorfológicas resultantes são produtos da atividade erosiva sobre a estrutura tectônica, como falhas e flexuras, a aparência montanhosa do relevo, com espigões de cimos ondulados, apresentam nítida tendência a se orientarem no sentido ENE dos lineamentos estruturais (ALMEIDA *apud* FURIAN & PFEIFER, 1986).

O Clima, conforme classificação de Köppen, é do tipo Cfb (mesotérmico subtropical), sem estação seca com a temperatura do mês mais quente inferior a 22 ºC. A temperatura média anual é de 16,5 ºC, com as médias mais elevadas registradas no mês de fevereiro, sendo julho o mês mais frio (RANZINI, 2002).

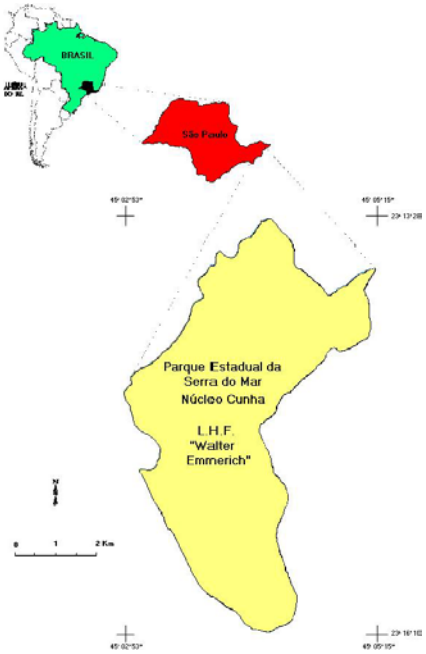

Figura 1 – Localização do L.H.F.W.E., Cunha – SP.

A proximidade com o Oceano Atlântico e a altitude do relevo imprimem à região condições climáticas específicas. A forte influência da ação da massa tropical marítima (Tm) e, com menor intensidade, da massa equatorial (Em), condicionam um clima úmido à região. No entanto, é sob a ação da frente polar atlântica (FPA) que a área ganha um regime pluviométrico dinamizado, concentrando as chuvas no verão. No inverno, a FPA alcança a região graças aos ares polares do pacífico, realizando uma trajetória continental, sendo, portanto, menos úmida e mais estável. No verão, ao contrário, a FPA é desviada para o litoral em virtude do aquecimento continental e atinge, freqüentemente, as áreas serranas do sudeste brasileiro, ocasionado intensas precipitações. Com elevações acima dos 1.000 m, a ocorrência de chuvas orográficas torna-se comum. Esse tipo de chuva costuma ser intermitente e fina, ocasionadas em virtude da dificuldade de penetração das massas úmidas de ar do Oceano Atlântico, resultando na queda da temperatura e na condensação do vapor (CONTI & FURLAN *apud* ROSS, 1996).

O monitoramento da precipitação pluviométrica nas microbacias experimentais é feito através de uma rede de nove pluviógrafos, instalados em clareiras e distribuídos conforme a figura 2. Os aparelhos (figura 3) são do tipo caçamba, com capacidade de 0,5 mm/caçamba, modelo B 400, da NAKAASA (Instruments Company Ltda – Japão). O registro das chuvas é feito em carta de papel de até três meses de duração.

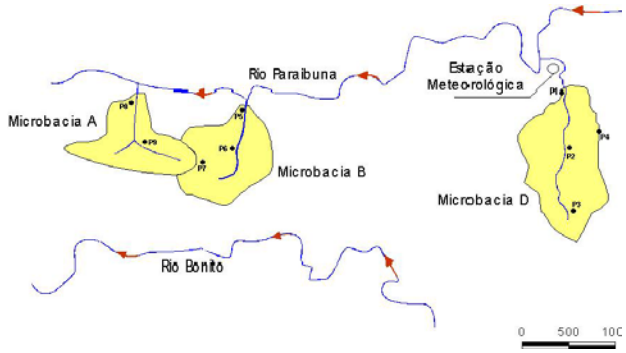

Figura 2 – Localização das microbacias experimentais e sua rede pluviográfica.

Para a realização deste do trabalho, foram selecionados três pluviógrafos, denominados P1, P5 e P9, instalados nas microbacias experimentais D, B e A, respectivamente. As séries históricas desses instrumentos perfazem 20, 16 e 11 anos, respectivamente.

Figura 3 – Pluviógrafo utilizado no L.H.F.W.E

Foram realizadas tabulações e interpretações dos registros das chuvas, determinando a quantidade das precipitações anuais, sazonais e mensais. Ainda, para o pluviógrafo P1, foi feita análise de chuvas individuais, obtendo-se a quantidade e a duração por eventos, sendo estes agrupados em seis classes distintas. Também, determinou-se o número de dias com chuvas durante os anos, períodos sazonais e meses, além da média mensal da precipitação máxima em 1 hora.

Eventuais falhas de registro de precipitação foram preenchidas com dados disponíveis dos demais aparelhos da rede pluviográfica das microbacias experimentais, por meio de regressões lineares simples.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As precipitações anuais nos três pluviógrafos mostraram-se bastante variáveis ao longo do tempo (tabela 1). Os maiores valores foram registrados na série histórica de 20 anos do aparelho 1, onde nos anos de 1985 e 1986 totalizaram 3.132,5 mm e 2.643,0 mm de chuva, respectivamente. Em 1997, a precipitação média dos três pluviógrafos ficou em 1.382 mm, o menor índice medido até o momento para os três aparelhos. A amplitude máxima para todo o período estudado, considerando os três aparelhos, ficou em 1.884,6 mm (3.132,5 mm em 1985 medido no P1 e 1247,9 mm em 1997 medido no P5).

Tabela 1. Precipitação anual nos pluviógrafos 1, 5 e 9.

Ano	Pluviógrafo 1	Pluviógrafo 5	Pluviógrafo 9
1982	2266,5	-	-
1983	2222,0	-	-
1984	1523,0	-	-
1985	3132,5	-	-
1986	2643,0	-	-
1987	1781,0	1844,0	-
1988	2150,0	2105,0	-
1989	2145,0	2014,1	-
1990	1633,5	1748,3	-
1991	1932,0	1891,0	-
1992	1907,5	1778,2	1975,3
1993	1466,5	1318,2	1667,0
1994	1851,5	1706,7	2092,0
1995	1804,5	1657,9	2007,0
1996	2013,5	2072,7	2310,5
1997	1489,5	1247,9	1408,5
1998	1906,0	1723,6	1968,1
1999	1714,5	1435,9	1779,9
2000	2071,5	1758,0	1916,9
2001	1483,5	1401,5	1485,4
2002	-	1612,5	1836,2
Média	1956,9	1707,2	1858,8

O pluviógrafo 9 apresentou maiores índices pluviométricos, quando se considera o período de 1992 a 2001, comparativamente aos demais aparelhos. Esta tendência pode estar relacionada ao fato de que este pluviógrafo encontra-se instalado numa altitude maior que os aparelhos 1 e 5. O aumento da quantidade de chuva com a elevação da altitude também foi detectado em estudo realizado na microbacia experimental D (JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY, 1986).

Observou-se uma tendência de redução dos totais anuais precipitados no L.H.F.W.E. ao longo dos anos (figura 4), corroborando informações apresentadas por CICCO (2004). Este comportamento é similar àquele detectado por SANT'ANNA NETO (1995), que observou uma diminuição dos índices anuais de chuva no município de Paraíbuna, também no Alto Vale do Paraíba do Sul, no período compreendido entre 1941 e 1992, sendo oposto ao verificado para outras localidades do Estado de São Paulo, onde os totais foram crescentes.

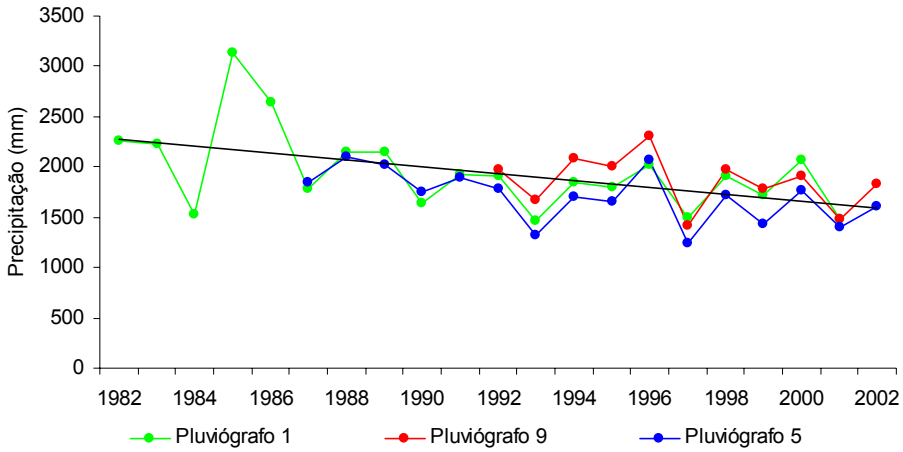

Figura 4. Variação da precipitação anual nos pluviógrafos 1, 5 e 9..

A média anual precipitada dos três pluviógrafos: 1.841 mm, foi elevada se comparada com a média do Estado de São Paulo, 1.360 mm (DAEE, 1972) e correspondeu a uma das maiores do país.

Quanto à época de ocorrência, as chuvas puderam ser divididas em dois períodos distintos: um período caracterizado como úmido, que se estende de outubro a março, correspondendo à estação das chuvas, e um período mais seco ou menos chuvoso, compreendendo os meses de abril a setembro. Janeiro foi o mês de maior índice pluviométrico, com valor médio da ordem de 280 mm, enquanto junho, julho e agosto foram os meses de estiagem, com valores oscilando de 47 a 57 mm (tabela 2). A figura 5, que apresenta a precipitação pluviométrica mensal média acumulada dos pluviógrafos, mostra que as grandes entradas de água nas microbacias ocorreram no período úmido, correspondendo, em média, entre 60% e 70% do total anual.

Tabela 2. Precipitação Mensal nos Pluviógrafos 1, 5 e 9

Mês	Pluviógrafo 1	Pluviógrafo 5	Pluviógrafo 9	Média
janeiro	289,9	256,1	291,3	279,1
fevereiro	244,8	220,3	246,6	237,2
março	267,8	227,4	240,9	245,4
abril	137,4	116,2	85,1	112,9
maio	90,6	87,1	82,4	86,7
junho	62,8	58,4	47,6	56,3
julho	57,3	56,9	57,5	57,2
agosto	54,2	42,9	44,9	47,3
setembro	148,4	135,2	157,7	147,1
outubro	157,0	149,5	172,2	159,6
novembro	199,6	164,3	210,6	191,5

dezembro	247,3	199,1	224,7	223,7

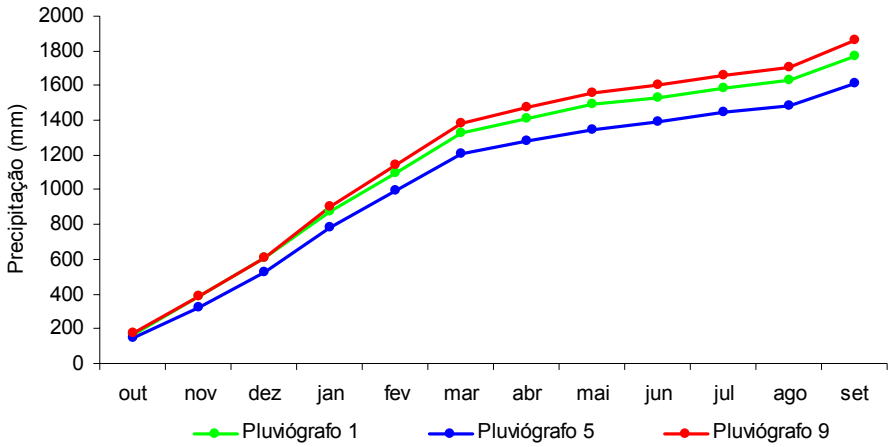

Figura 5. Precipitação média mensal acumulada nos pluviógrafos 1, 5 e 9.

Em média, ocorreram 148 dias com eventos de chuva durante os anos estudados, dos quais 96 (65%) estiveram concentrados entre outubro e março. Assim como a quantidade de chuva, que apresentou descendência ao longo do tempo, observou-se, igualmente, uma redução do número de dias com chuva (figura 6).

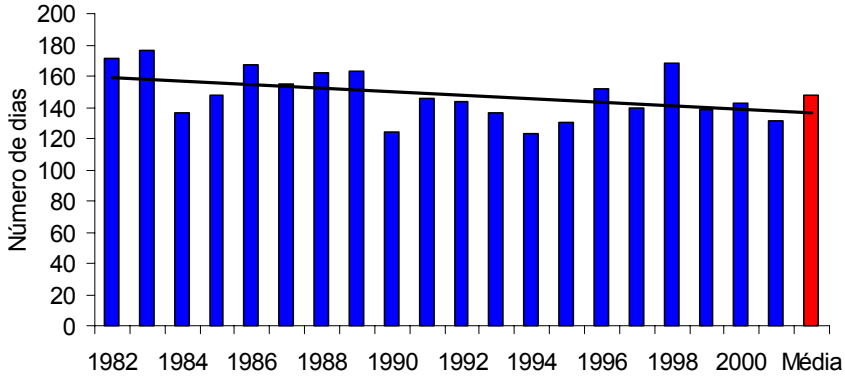

Figura 6. Média anual do número de dias com ocorrência de chuva ao ano, no pluviógrafo 1.

Quando aos eventos de chuva foram agrupados em classes de precipitação, verificou-se que cerca de 60% dos eventos no período úmido foram inferiores a 10 mm. No extremo oposto, 4% do total corresponderam a precipitações com valores superiores a 50 mm, sendo que mesmo quando se consideram as chuvas maiores que 20 mm, o total foi de 21% (figura 7a). Estes valores são da ordem de grandeza daqueles obtidos por RANZINI et al. (2004), que estudaram, na mesma microbacia, um único período úmido.

O período pouco úmido mostrou, também, valores semelhantes (figura 7b). Ou seja, 65% dos eventos foram inferiores a 10mm; somente 3% das precipitações foram maiores que 50 mm; e da mesma forma que observado no período úmido, 19% das chuvas foram superiores a 20mm.

Figura 7. Quantidade das chuvas nos períodos úmido (a) e pouco úmido (b).

Separando as precipitações em classes de duração, observou-se que, no período úmido, 63% das chuvas duraram até 6 horas (figura 8a), semelhantemente ao período pouco úmido, onde eventos de igual duração predominaram em 54% (figura 8b).

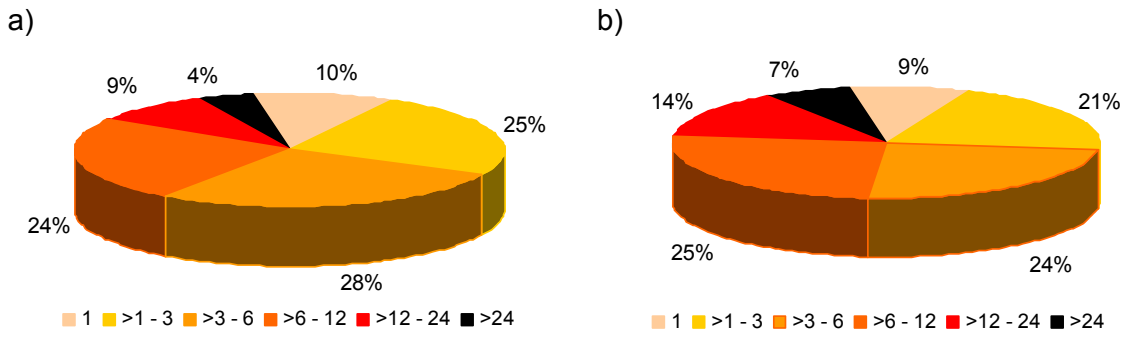

Figura 8. Duração das chuvas nos períodos úmido (a) e pouco úmido (b).

Ao se estudar a quantidade máxima de chuva em 1hora, verificou-se o predomínio de valores em até 20 mm, equivalendo a 71% do total (figura 9). Por outro lado, somente 4% das precipitações máxima em 1 hora foram superiores a 40mm.

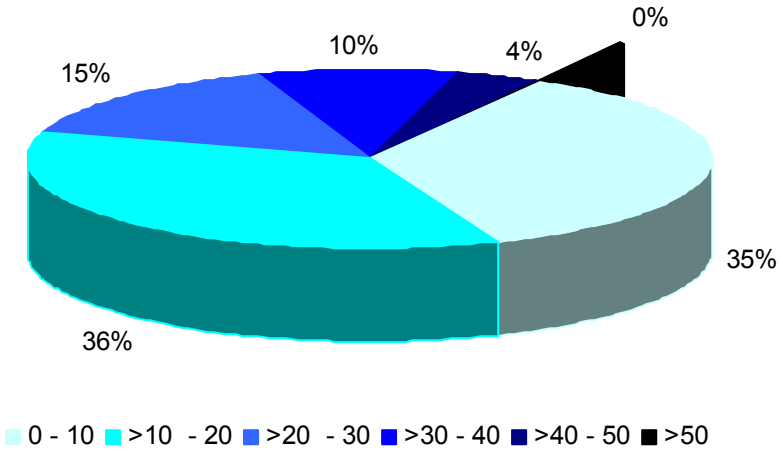

Figura 9. Precipitação máxima em 1 hora no pluviógrafo 1.

A média mensal da precipitação máxima em 1 hora, correspondeu de certa forma, à dinâmica das chuvas nos períodos sazonais (figura 10). Março destacou-se dentre os demais meses como o que deteve a maior média: 27,5 mm e agosto registrou a menor média: 6,0 mm.

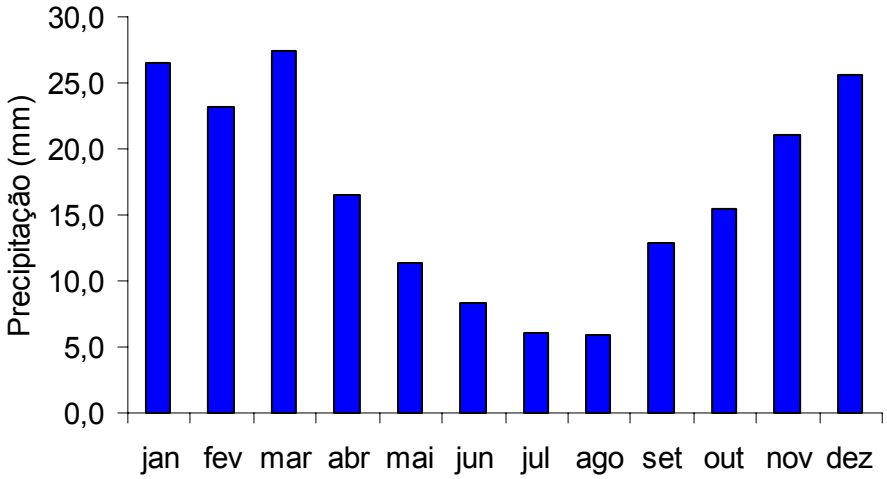

Figura 10. Média mensal da precipitação máxima em 1 hora no pluviógrafo 1.

Verificou-se ainda para o aparelho P1 a distribuição do número de dias com chuva durante os meses (tabela 3). Janeiro foi o mês que apresentou maior número de dias chuvosos: 18. Já os meses de junho/julho registraram o menor número, com apenas 6 dias com chuva para ambos.

Tabela 3. Média mensal do número de dias com chuvas no pluviógrafo 1.

Mês	Média (dias)
janeiro	18
fevereiro	16
março	17
abril	11
maio	9
junho	6
julho	6
agosto	7
setembro	13
outubro	14
novembro	15
dezembro	16

CONCLUSÕES

As principais conclusões foram:

a) Houve uma tendência de redução da precipitação anual no L.H.F.W.E. no período de 1982 a 2002;

b) A participação do período úmido (valores próximos a 1.200mm) superou o período pouco úmido (cerca de 700 mm), as médias máximas estão situadas no mês de janeiro e as mínimas no mês de agosto, no entanto, abril e setembro chamaram atenção: 112,9mm e 147,1mm respectivamente, o que demonstra a transição entre os períodos nestes meses;

c) A análise da precipitação mostrou que no período úmido, 60% das chuvas são inferiores a 10mm e 63% delas têm durado até 6 horas. Um comportamento semelhante foi observado para o período pouco úmido, ou seja, 65% das chuvas equivaleram à quantidades de até 10 mm, com 54% delas durando até 6 horas;

d) Nos eventos registrados em 1 hora, 71% representou valores de até 20mm. A média mensal destes eventos seguiu o ritmo sazonal, ou seja, as maiores médias estiveram situadas no mês de março (27,5 mm) e as menores no mês de agosto (6,0 mm); e

e) Em média, ocorreram 148 dias com chuva, (41% do ano), dos quais, 65% referente ao período úmido e 35% ao pouco úmido. Sendo que janeiro concentrou o maior número de dias chuvosos (18), já os meses de junho e julho registraram cada um apenas 6 dias Ressalta-se que o número de dias com chuva vem caindo, assim como a quantidade precipitada.

REFERÊNCIAS

ARCOVA, F. C. S.; CICCO, V. Manejo de bacias hidrográficas. In: HONDA, E. A.; YAMAZOE, G. (Org.). **25 Anos de Cooperação JICA – Instituto Florestal**. São Paulo: Imprensa Oficial, 2005. p.34-46

CICCO, V. **Análise de séries temporais hidrológicas em microbacia com cobertura vegetal natural de mata atlântica, Cunha – SP.** 2004. 124 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

CONTI, J. B.; FURLAN, S. A.; Climatologia e Geoecologia. In: ROSS, J. L. S. (Org.).**Geografia do Brasil**. São Paulo: Edusp, 2003. p.67-198.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE (São Paulo – SP). **Atlas pluviométrico do Estado de São Paulo (período 1941-1970)**, 1972. 84 p.

FURIAN, S. M. & PFEIFER, R. M. Levantamento de reconhecimento do meio físico do Núcleo Cunha, SP**. Boletim Técnico do Instituto Florestal**, São Paulo, v.40, n.2, p:183-193, 1986.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (São Paulo – SP). **Synthetic report of the japanese technical project for the forestry research in São Paulo, Brazil,** 1986. 555 p.

RANZINI, M. **Modelagem hidrológica de uma microbacia florestada da Serra do Mar, SP, com o modelo TOPMODEL – simulação do comportamento hidrológico em função do corte raso.** 2002. 132 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos , Universidade de São Paulo, São Carlos.

RANZINI, M; RIGHETTO, A. M.; LIMA, W. P; GUANDIQUE, M. E. G.; ARCOVA, F. C. S. ; CICCO, V. Processos hidrológicos de uma microbacia com mata atlântica, na região da Serra do Mar, SP. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v.66, p. 108-119, 2004.

SANT'ANNA NETO, J. L. **As chuvas no Estado de São Paulo: Contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica.** 1995. 194 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

SHIMOMICHI, P. Y.; CICCO, V.; ARCOVA, F. C. S. & FARIA, A. J. Correlação entre métodos de cálculo de precipitação média mensal em bacia hidrográfica experimental. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, São Paulo, v.41, n.1, p. 1-26, 1987.